

特開平8-320254

(43) 公開日 平成8年(1996)12月3日

(51) Int. Cl. ³	識別記号	片内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 J 3/28			G 0 1 J 3/28	
G 0 1 N 21/17			G 0 1 N 21/17	Z

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 6 頁)

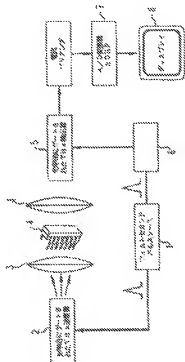
(21) 出願番号	特開平8-27183	(71) 出願人	59519464 エイ・ティ・アンド・ティ・アイピーエム・コーポレーション アメリカ合衆国、33134 フロリダ、コーラル・ゲブルズ、ボンス・ド・レオン ブウルヴァード 2233
(22) 出願日	平成8年(1996)2月15日	(72) 発明者	マーチン シー、ナス アメリカ合衆国 07704 ニュージャージー、フエア・ヘヴン、リンカーン アヴェニュー 146
(31) 優先権主張番号	08/388933	(74) 代理人	弁理士 岡部 正夫 (外10名)
(32) 優先日	1996年2月15日		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

(54) 【発明の名称】 テラヘルツのイメージ化の方法と装置

(57) 【要約】

【課題】 テラヘルツの周波数レンジ内での信号により物体のイメージを生成する方法と装置を提供する。

【解決手段】 特定の材料および物体は、材料または物体を透過し照明する信号中のテラヘルツ遷移の周波数依存の吸収、分散、および反射によりより特徴付けすることができる。本発明のテラヘルツイメージ化システムは、物体を通過して伝播した送信信号を集め、次いでこれらの信号中に含まれた情報を物体上の各点または「ピクセル」に対して処理することで時間領域内の周波数依存を分析する。これは、異なる材料、化学構造、あるいは環境を区別できる、非破壊的なイメージ化技術である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 物体イメージ化する方法であって、前記物体上の特定のポイントにおいて高速度パルスのレーザ光を伝送するステップ、

前記物体を通る伝播の後に前記信号を検知するステップ、

前記信号が前記物体上の複数の空間的に別個の領域を通過するように前記物体を交換するステップ、及び前記物体のイメージを生成するために受信した信号中に含まれている時間領域内のスペクトル情報を分析するステップ

を含む物体をイメージ化する方法。

【請求項2】 前記分析するステップが特定のポイントにおける物体の構成特性を識別することを含む請求項1記載の方法。

【請求項3】 前記信号が100GHzから20THzの周波数レンジ内である請求項2記載の方法。

【請求項4】 物体をイメージ化するための装置であって

高速度パルス信号のソース、

前記信号が前記物体の特定の領域上に焦点化されるようにするためのイメージ化光学手段、

前記物体を通る伝播の後の前記信号を受信するための検出器、

前記信号が前記物体上の複数の空間的に別個の領域を通過するように前記物体を交換するための手段、および前記物体のイメージを生成するために受信した信号中に含まれている時間領域内のスペクトル情報を分析するための前記検出器に接続された手段を含む物体をイメージ化するための装置。

【請求項5】 前記分析するための手段が特定のポイントにおいて物体の構成特性を識別するための手段をさらに含む請求項4記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、テラヘルツの周波数レンジにおける分光法に関し、より詳しくは、この周波数レンジ内の信号で物体のイメージを生成するための方法と装置に関するものである。

【0002】

【発明が解決しようとする課題】 テラヘルツの時間領域の分光法 (THz-TDS) は遠赤外線スペクトル領域における非常に強力な分光法上の技術である。テラヘルツの放射は、P. Smithなどの、IEEE J. of Quantum Electronics, Vol. 24, No. 2, 第255-266頁 (1988)、およびN. Kuznetsov, K. E. E. J. of Appl. Phys. Lett., Vol. 58, No. 3, 第222-224頁 (1991) に記載された光伝播速度のダイオードアンテナのよきな、光学的にゲートされた送信機および受信機を使用して発生および

検知される。これらの技術によれば、テラヘルツの分光法は、台座に良好な信号対ノイズ比 (約10³ dB) を提供し、また冷却された検出器のような特別に熱的に安定な装置なしに実施することができ、コンパクトなシステムを実現でき、また非破壊技術と互換性のある送信機と検出器を提供するものである。

【0003】 テラヘルツ時間領域分光法を使用した多くの研究が固体、液体、およびガス上で実施されている。いくつかの研究においては、半導体および超電導体においてキャリアにより影響されるテラヘルツ信号のスペクトルを分析されている。他の研究においては、赤外線および、Oガスでの時間領域分光法が実施されている。その他の研究においては、液体において化学化合物のテラヘルツ時間領域分光法が報告されている。これらの全ての研究においては、その均質な領域に関するスペクトル情報を提供するために、テラヘルツ信号は単一の照明された体積領域 (通常は直径25mm) において検出対象の物質を通過してテラヘルツ信号が送信される。

【0004】

【課題を解決するための手段】 本発明者は、時間領域分光法および、より詳しくは、テラヘルツ信号は、物体上の別個の (空間的に分離された) ポイントを通過して伝播する個々の信号を集めたこれらの信号を処理して物体のイメージを生成することによる、物体をイメージ化するために使用することができることを見出した。別個のポイントにおいて物体上の信号源に焦点し、また伝播方向を横断するパターンで物体を同時横断でソースと検出器を走査することも可能である。さらに、ソースが全体の物体を実質的に平行なビームで覆うようにして、広い物体を走査する検出器によりサンプリングをすることも可能である。当然のことであるが、他の実施形態においては、焦点化された送信機と受信機を実質的に固定された位置において保持しながら、縦横断する方向で物体を交換 (translate) することも可能である。

【0005】

【発明の実施形態】 以下に、添付図面を参照して、本発明の実施形態を説明する。本発明による図1のTHzイメージ化システムは、線形遅延の、フェムト/ピコ秒の持続時間の、光パルスのソース1、広いスペクトル帯域幅を有する光学的にゲートされたTHz遅延の送信機2、レンズおよび/または鏡からなるイメージ化光学系3、調査されるべき物体4、時間ゲートされた検出器あるいは検出器アレイ5、THz周波数の遅延を音響的な (Hx) レンジまで一時的にヘテロダインしてそれらを電子技術により処理できるようにするために送信機と検出器ととの間のフェムト秒でゲートするパルスの間の遅延を数Hzから数百Hzの速度で変化させることができる非共振遅延器6、時間領域分光法を処理して座標の情報を抽出するためにデジタル信号プロセッサとA/D

裏換源を含むデジタル信号増幅ユニット、並びにイメージを見るためのディスプレイ 8 を含んでいる。

【0006】特定の材料と物体は、材料または物体を通過するテラヘルツ遷移の周波数依存性の吸収、分散、および反射により特徴付けすることができる。本発明のテラヘルツイメージ化システムは、物体を通して電流する通信信号を集め、次いでこれらの信号中に含まれる情報をその物体上の各ポイントまたは「ピクセル」に対して処理することにより、時間領域においてこの周波数依存性を分析する。これは、異なる材料、化学構造、あるいは環境 (environment) 間を区別できる、非侵略的なイメージ化技術である。この技術は、生体組織の生化学的なイメージ化、「安全なX線」、化学反応分析、環境上および産業上の部品の材料検査、危険検出、中核体ウェハー内のドーピングの非接触性のマッピング、レーザ結晶内のドーピングと欠陥のプロファイル化、および故障検査などに限されない用途を有している。

【0007】典型的なテラヘルツ送信機は、 20 nm の細りで動作するモードロックされた色素レーザーあるいは 30 nm の幅で動作するモードロックされたテラヘルツパルス出力の $\text{Cr}^{4+}:\text{LiSGF}$ レーザのいずれかからの 100 fs のレーザパルスにより照射された板に THz に集中された電磁放射の単一のサイクルを放出する。テラヘルツ遷移の特長期間が短いために、スペクトルは広帯域であり、典型的には 100 GHz 以下から数 THz まで延びている。

【0008】この時点では、 THz 帯域幅の電気信号の測定および処理をすることができる電子回路はない。光および THz パルスの繰り返し特性 (典型的には $\sim 100\text{ MHz}$ の繰り返し速度) に基づくサンプリング技術は、サンプリングウィンドウが測定されるべきいずれかの THz 遷移よりも短い場合において THz 波形状を測定するために使用できる。典型的な光伝導サンプリングゲートは 0.5 ps より短いサンプリング時間を有し、また、 2 THz 以上の周波数遷移を測定することができる。サンプリング技術においては速い電子回路は必要ない、また大ボルトアンテナ内の平均的光電流だけが計測される。サンプリング範囲と同時に、 THz 波形状と検出器のゲートパルスの間の遅延は約 100 GHz の速度でゆくりと走査される。よって、各サンプリングのパルスは、サンプルから生体の THz 波形状が再構築されるまで THz パルスをいかなる異なる時間においてサンプリングする。これにより、 THz 波形状の $k\text{Hz}$ レンジへの「一時的な変換」がなされて、電子回路による処理が容易となる。このようなサンプリング技術は、等価時間サンプリング (Equivalent-time Sampling) として知られているが、通常のデジタルサンプリングのオシロスコープを使用してもよい。この等時性のサンプリング技術は、ピコ秒の光学的

サンプリングに対して $K. Weingerlen$ などにより $J. Opt. Soc. Am. B$, Vol. 24, No. 2, 第 198-225 頁 (1998) において説明されている。

【0009】ほとんどではないが、多くの生命物はこれら THz 遷移によりカバーされる周波数範囲内で非常に高い周波数依存性の吸収または反射を示す。同様に、分子および化学化合物は、少なくともミクロンにおいて、また特定の結晶ではイオンにおいても、 THz スペクトル領域における強力な鋭い吸収ラインを有する。吸収ラインは、水分子のような検査中の材料や環境の特性であり、また分子の「指紋」として機能する。化学物質はよって、そのサンプルの化学組成および構造を識別する特徴的な THz 波形状を有する。完全に不透明な材料あるいは高電気導電性の材料もある。

【0010】本発明の THz イメージ化システムにおいては、上記したスペクトルを計算しない直接計測を必要としない。その代わり、食料認識および処理と類似した方法で、測定する特徴が時間領域データから直接に抽出することができる。図 2 と図 3 は入力 THz 波形状 (ダッシュされた) とドーピングされたシリコンサンプル (図 2) および水蒸気 (図 3) を通る伝導後の波形状である。

【0011】デジタル信号プロセッサは、 THz ビームにより照射されたスポットにおける特定の材料を決定するために、送信された THz 波形状 (シリコンに対しては特定の波形状と変化および減衰、水蒸気の場合には特徴的な周波数のリンギング (ringing) の特徴的な形状を認識することができる。これは、幅もって 0.5 ps にこれらの特徴的な波形状をトレーニング (あるいはロード) する必要がある。このような工程は当業者には自明であり、省略する。

【0012】図 1 の送信機、受信機、および光学系に対する図 4 に示した特別な実施形態では、送信機からの THz ビームは 0.3 m 、 0.5 mm の放射線線されたスポットに焦点をされる。これは THz 放射に対する放射線照射されたスポットサイズである。またこの技術で可能な最小の空間的な分解に近いものである。このスポットは次いで単一の THz 検出器上でイメージ化される。サンプルは THz ビームの焦平面内に位置され、また 2 つの異なる、マーク駆動のステージを使用したジグザグパターンでの x と y 内で走査される (x と y の矢印により図 4 に示す)。

【0013】送信機と検出器のゲートしたパルスの間の遅延は、 100 fs と走査遅延ラインにより連続的に調整される。走査ラインの遅延は調節することができ、またデータ獲得の時間ウィンドウを決定する 1 mm の距離は、 0.5 ps の時間ウィンドウに対応する。光伝導のダイポール検出器内で発生する平均的な電流は電圧-電圧変換器により計測され、また次いで A/D 変換器と 0.5 ps プロセッサカードに供給される。ここで、 A/D 変換器

としては500kHzと変換速度ができるものを、またDSプロセッサとしては名称において100DFDの速度で波形をフーリエ変換できるものを、それぞれ使用した。よって、このシステムによれば、各THz波長のDFDスペクトルを10Hzと変換速度に同期して容易に得ることができる。

【0014】この実施した例において、DFDスペクトルはディスプレイのスクリーン上に色付けされたドットとして表現され、THzスペクトルの周波数成分は視覚可能な（紅色の）スペクトルとして表現される。つまり、テラヘルツスペクトルは周波数成分のスペクトル上にマッピングされ、検波中の物体を通して伝播した周波数成分だけが表示された色に相当するようになる。

【0015】DSFがこのシステムにおいて使用されているので、受信したテラヘルツ信号と特定の光源、化合物などに関連している蓄積されたパターンとの間の互換性（相関）を計算することにより時間領域技術を利用することも可能である。受信した信号に最も近く一致した信号が連置された物体のポイントを識別するものである。

【0016】実験による他の例においては、DSFプロセッサは特定の分子の特性である特定の吸収ラインを識別し、この吸収パターンに特定の色と強度を割り当てる。各走査の後、サンプルは1つの「ピクセル」だけ移動され「好ましく」、また表示はこの特定のピクセルに対して更新される。上記のシステムでは、50×50にイメージが獲得され、また1度4分にわたって表示される。

【0017】図8は、上記で得られたTHzイメージに対する予備的な結果を示したものである。

【0018】図1のイメージ化システムの送信機、受信機、および光学系に対する図5に示した例の実施の形態においては、サンプルは静止したままであり、またTHzビームはサンプルを掃射して走査される。これは、概してよりTHzビームを機械的に駆動することにより、またはTHzビームを光学的に駆動すること（この場合、光学ビームの線がTHzビームの線となる）により行うことができる。

【0019】図1のイメージ化システムの送信機、受信機、および光学系に対する図6に示した例の実施の形態においては、図7に示された集光面THz検出器アレイを使用して、全体のサンプルに対するTHz波形状が同時に獲得される。よって、全体のサンプルはTHzビームにより被照明され、またサンプルはレンズシステムを使用して集光面検出器アレイ上にフォーカスされる。被照明によって照明が個々のポイントのソースからの平行ビームとして現れる。

【0020】集光面THz検出器アレイは、ゲートする時間がピコ秒以下となるように低温度（1.7° Celsius）または照射誘導されたサファイア上のシリコン（Si）

（conduction-Sapphire; SOS）上でリソグラフィ的に製造された。THzダイオードアンテナ（この場合には各側上で500μm）の2次元的なアレイから構成される。組み合わされたフィンガー線状を使用したMSM光伝導性のスイッチがアンテナチップの間に製造される。組み合わされた光伝導性のMSMスイッチのサイズは大体10μm方形である。各アンテナ/MSM装置はTHzイメージピクセルを構成する。MSM光伝導性スイッチは、チップの全体の領域を被覆するビームからの弱い光学パルスによりゲートされ、またマイクロレンズアレイを使用したMSM検出器上に集光される。マイクロレンズアレイとゲートパルスは、THz放電（ビームスプリングを備えた）と同じ側、あるいは反対側

（この場合、THzビームはそれがアンテナにより検出される前にチップ基板を通して移動する）から来る。読み出されたエネルギーの1pJだけが各MSMゲートに対して必要であり、これにより10mJのパルスが100×100の集光面アレイをゲートすることができる。アンテナチップは、検出された電流をチップを保持する各アンテナバンド上で1つの接点で下側において他のチップと、またDSFプロセッサと、半田バンプ接続（solder bump-connection）から来る。好ましくは、下側の半田バンプにより接続したチップはCCDアレイであり、これによりビデオカメラのように全てのピクセルは順次読み出すことができる。光発生された電流は、多くの光パルスにおいて、電流が読み出される前に、CCDアレイ内で蓄積される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の原理による開示的なテラヘルツイメージ化システムの簡略化されたブロック図である。

【図2】既知の材料を通る伝播後における入力テラヘルツ波形状と出力波形状の間の比較の説明図である。

【図3】既知の材料を通る伝播後における入力テラヘルツ波形状と出力波形状の間の比較の説明図である。

【図4】図1のシステムにより走査されるべき物体に対する所望量の走査を確保するための例示的な実施の形態の説明図である。

【図5】図1のシステムにより走査されるべき物体に対する所望量の走査を確保するための例示的な実施の形態の説明図である。

【図6】図1のシステムにより走査されるべき物体に対する所望量の走査を確保するための例示的な実施の形態の説明図である。

【図7】図5の実施の形態における有用な例示的なテラヘルツ集光面アレイの一群の説明図である。

【図8】開示したテラヘルツイメージ化システムにより生成された半導体デュアルインラインパッケージ化されたチップのイメージを示した説明図である。

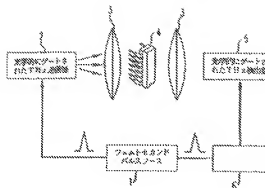
【符号の説明】

1 ソース

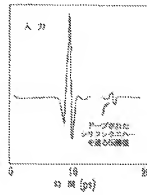
- 2 通信機
3 光学系

- 6 走査遅延部
7 ポジカル信号処理ユニット

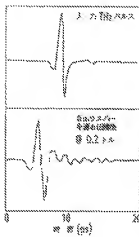
【図1】



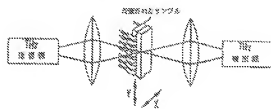
【図2】



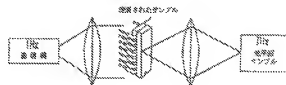
【図3】



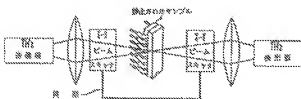
【図4】



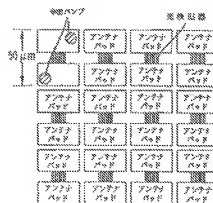
【図6】



【図5】



【図7】



【圖 6】

